

Histoire des pompes à chaleur

Quelles utilisations et par qui ?

Gerald C. Groff (Groff Associates, USA)

Traduit de l'anglais par François Durier (CETIAT)

Article paru dans le numéro de mars 2010 de *REHVA Journal*¹

Introduction

On estime qu'il y a dans le monde plus de 130 millions de pompes à chaleur installées dans l'industrie et dans les secteurs résidentiel et tertiaire. Le marché est devenu important, avec environ 15 millions de pompes à chaleur vendues actuellement chaque année en Asie, auxquelles s'ajoutent 2 millions d'unités pour l'Amérique du Nord et plusieurs centaines de milliers pour l'Europe et le reste du monde. Le développement économique de nombreux pays fortement peuplés et la poursuite de la croissance dans les pays industrialisés vont conduire à des consommations accrues d'énergie. Les défis croissants liés à l'approvisionnement énergétique, au coût des combustibles et aux enjeux environnementaux laissent penser que les pompes à chaleur disposent d'atouts précieux parmi les outils à disposition des bureaux d'études et des ingénieurs. Cet article propose une histoire de l'utilisation des pompes à chaleur, avec l'objectif de comprendre ce qui a motivé leur usage et ce que ces appareils ont apporté depuis leur invention il y a 150 ans.

L'éveil des pompes à chaleur – le premier siècle (1852 – 1950)

L'ouvrage de Sadi Carnot en 1824² relatif aux machines thermiques et le brevet britannique déposé en 1835 par Jacob Perkins sur une machine à cycle thermodynamique à compression de vapeur constituent deux jalons importants de l'histoire de la thermique. Il fallut toutefois attendre 1852 et la communication de William Thomson (Lord Kelvin) devant la Société Philosophique de Glasgow intitulée "De l'économie du chauffage ou du rafraîchissement des bâtiments au moyen d'écoulements d'air" pour voir la première proposition d'utilisation d'une machine thermodynamique pour le chauffage. Plus tard, Lord Kelvin ajoutera une note à sa communication indiquant : "La méthode de chauffage de l'air décrite dans cet article n'a aujourd'hui toujours pas été réalisée. Alors que les chutes du Niagara sont équipées pour fournir de l'énergie à l'Amérique du Nord via des câbles électriques³, il

¹ "A short history of heat pumps - who uses them and why ?", Gerald C. Groff, The REHVA European HVAC Journal, vol. 47, n°2, pages 50-56, mars 2010.

² Note du traducteur (NdT): dans la version anglaise de cet article, la date citée (1834) est erronée. Elle a été ici corrigée. L'ouvrage de Carnot intitulé «Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance » est paru en 1824 et Carnot est décédé en 1832.

³ NdT : les chutes du Niagara ont commencé à produire de l'hydroélectricité pour des industries de la ville de Buffalo à la fin de 1896.

ne fait aucun doute que cette énergie sera largement utilisée pour le chauffage des logements dans une grande partie du Canada et des États-Unis. Mais il est possible qu'elle trouve aussi des applications à plus petite échelle dans d'autres pays froids, pour multiplier la chaleur issue du charbon et d'autres combustibles et pour utiliser le vent et l'hydraulique afin de chauffer les bâtiments résidentiels". Ainsi, dès le milieu du 19^{ème} siècle, Lord Kelvin avait présupposé l'utilisation des pompes à chaleur telles qu'elles ont été développées depuis, à savoir les pompes à chaleur électriques et les pompes à chaleur entraînées par une énergie primaire.

La recherche de moyens d'économiser l'énergie devint un objectif primordial lorsque les ressources en bois et en charbon s'épuisèrent. Une pénurie de charbon en Suisse durant la Deuxième Guerre mondiale, due à l'arrêt de l'approvisionnement par l'Allemagne, conduisit à l'utilisation de pompes à chaleur, comme le système à compression de vapeur installé à cette époque dans une piscine à Zürich⁴. Ici, la source froide était le fleuve Limmat tandis que la chaleur dégagée au condenseur de cette machine à ammoniac servait au chauffage des douches, des sols, ... et de l'eau de la piscine. Après la Guerre, des pompes à chaleur continuèrent à être utilisées dans l'industrie en Suisse, comme la pompe à chaleur à compression mécanique de vapeur de l'aciérie *Georg Fischer* à Schaffhouse. Dans cette usine, l'eau de refroidissement des compresseurs d'air nécessaires à la production de l'acier était stockée, puis alimentait par une pompe l'évaporateur et le condenseur d'un système à compression mécanique de vapeur équipé d'un compresseur à aubes fixes. Dans cette installation, la vapeur refroidie à l'évaporateur était rejetée à l'atmosphère, tandis que l'eau chauffée au condenseur atteignait une température suffisante pour alimenter les douches des ouvriers de l'aciérie.

En 1931, une pompe à chaleur fut installée dans un immeuble de bureaux de la *Southern California Edison Company* à Los Angeles. En 1932, Willis Carrier installa sa première pompe à chaleur à la *Utility Company* à Uji, au Japon. La première pompe à chaleur européenne pour le chauffage et le rafraîchissement de locaux fut installée en 1938 à l'Hôtel de Ville de Zürich. Elle est toujours en fonctionnement⁵.

Une des premières installations résidentielles est due à T.G.N. Haldane en 1928, avec un cycle fermé à compression de vapeur destiné à sa maison écossaise, entraîné par un moteur thermique et avec la possibilité de production de glace. Les premières utilisations des pompes à chaleur dans des bâtiments aux États-Unis intervinrent dans les années 1930, avec des appareils de conditionnement d'air assurant un chauffage électrique propre. Des approches différentes de celles retenues aujourd'hui étaient utilisées pour satisfaire aux exigences des périodes de chauffage et de rafraîchissement. Une de ces approches consistait à inverser les flux d'air selon les besoins de chauffage ou de rafraîchissement, sans modifier le circuit frigorifique. Une autre solution était d'avoir deux condenseurs et deux évaporateurs associés à un seul compresseur. La maîtrise d'un circuit frigorifique réversible ne fut atteinte que 25 ans plus tard.

⁴ NdT : le document téléchargeable à l'adresse Internet : <http://www.zogg-engineering.ch/publi/HistoryHP.pdf>, intitulé « History of heat pumps – Swiss contributions and international milestones », donne plus d'informations sur l'histoire des pompes à chaleur en Suisse.

⁵ NdT : le document cité dans la note précédente donne des indications détaillées sur cette pompe à chaleur historique et sur les modifications et rénovations qu'elle a connues depuis sa mise en service.

L'émergence d'un marché de masse (1950-1960)

Avant la Deuxième Guerre Mondiale, le nombre de pompes à chaleur installées aux États-Unis était de l'ordre d'une vingtaine. Ce nombre augmenta ensuite rapidement lorsque la demande de logements, accumulée pendant les années de guerre, conduisit à la construction massive d'habitations. Cette dernière incita en retour au développement de systèmes de chauffage et de rafraîchissement pré-assemblés en usine et faciles à installer dans les bâtiments. Dans le sud des États-Unis, où il existe à la fois des besoins de chauffage et de rafraîchissement, les pompes à chaleur se montrèrent très attractives par rapport à des systèmes séparés (climatiseur électrique et générateur d'air chaud gaz ou fioul). Au milieu des années 50, les pompes à chaleur pour le résidentiel et les petits bâtiments tertiaires étaient proposées par plusieurs fabricants américains, avec un marché annuel croissant : 2 000 unités en 1954, 76 000 en 1963 et 325 000 en 1976.

La prospérité économique aux États-Unis et dans d'autres pays durant les années 1950, ainsi que l'apparition de centrales nucléaires et la perspective d'électricité à très bas coût pour l'industrie et les particuliers, provoquèrent un fort intérêt pour le chauffage électrique au nord et pour les pompes à chaleur au sud ⁶. Le bon environnement économique incita alors à des projets immobiliers d'envergure, aussi bien en tertiaire qu'en résidentiel, et les pompes à chaleur furent de plus en plus considérées comme des solutions énergétiquement efficaces pour beaucoup de ces projets. Parmi les principaux promoteurs de ces systèmes, on trouve par exemple J. Donald Kroeker, responsable d'un bureau d'études à Portland (Oregon), qui employa avec succès des pompes à chaleur dans plusieurs bâtiments renommés, comme l'*Equitable Savings and Loan Building* à Portland (1948) et le *Southdale Center* à Minneapolis (1956). L'*Equitable Building*, devenu depuis un « monument historique de l'ingénierie mécanique »⁷, est considéré comme le premier bâtiment tertiaire équipé de pompes à chaleur aux États-Unis⁸. Durant la Deuxième Guerre Mondiale, un moratoire avait suspendu la construction de bâtiments tertiaires. Une levée partielle de ce moratoire en 1946 permit la construction de l'*Equitable Building*, le premier grand bâtiment de bureaux autorisé après la guerre. Il présentait plusieurs innovations, d'abord du point de vue architectural (habillage des façades en aluminium, vitrages absorbants teintés en vert). De plus, comme le bâtiment était muni de fenêtres non ouvrables, il devait comporter un système de conditionnement d'air assurant le confort toute l'année. Le Président de *Equitable Savings and Loan* avait appris que des pompes à chaleur étaient utilisées en Angleterre et il insista pour qu'elles puissent équiper ce nouveau bâtiment. C'est le bureau d'études thermiques de J. Donald Kroeker qui fut sélectionné pour la conception du système de génie climatique. Ce dernier utilise l'eau de nappe comme source de chaleur, une option à laquelle Kroeker fit ensuite appel dans un grand nombre de cas.

⁶ NdT : cette mention de l'intérêt pour les pompes à chaleur dans les régions du sud des États-Unis semble en contradiction avec les exemples présentés ensuite par l'auteur, qui se situent plutôt dans des États du nord (Oregon, Minnesota). On peut supposer que pour les climats du sud, l'auteur fait en réalité référence à des climatiseurs réversibles.

⁷ NdT : cette distinction est attribuée par l'ASME (American Society of Mechanical Engineers).

⁸ Une description du bâtiment et de ses pompes à chaleur est disponible à : <http://www.asme.org/history/brochures/h046.pdf>.

Le *Southdale Center* (Figure 1) fut le premier centre commercial complètement fermé et climatisé, avec 80 000 m² de surface de vente (maintenant portée à 160 000 m²). La conception de ce centre commercial résulta également des changements intervenus après la Deuxième Guerre Mondiale. L'expansion de la ville de Minneapolis se traduisait par une extension géographique et la nécessité d'offrir des zones commerciales en périphérie urbaine pour répondre à de nouvelles demandes. L'idée des frères Dayton, qui possédaient le grand magasin le plus vaste du centre de Minneapolis, fut de créer un centre commercial suburbain. Après plusieurs études marketing, le projet fut lancé, avec un architecte né en Autriche, Victor Gruen, et J. Donald Kroeker comme bureau d'études thermiques. Kroeker utilisa là-aussi l'eau de nappe comme source de chaleur et des pompes à chaleur entraînées par un moteur thermique à gaz naturel. Il mit en place des systèmes de récupération de chaleur et conçut une installation sans réseau d'amenée d'air neuf, ce dernier étant pris dans un patio de trois niveaux jouant le rôle d'un plenum géant fournissant un rafraîchissement et un chauffage de base en été ou en hiver. L'air neuf était filtré⁹ par les feuillages des arbres présents dans le patio. Le centre ouvrit ses portes en 1956. Compte tenu du succès dans la conception de ce bâtiment, le bureau d'études utilisa les mêmes solutions dans des projets ultérieurs.



Figure 1 : Le Southdale Center à Minneapolis

Dans la dernière partie des années 1950, des pompes à chaleur étaient produites par plusieurs fabricants américains, certains avec une expérience dans les matériels de conditionnement d'air et de réfrigération, d'autres non. L'enthousiasme suscité par les pompes à chaleur auprès des producteurs d'électricité, qui voyaient en celles-ci un moyen d'augmenter leurs ventes, et les opportunités commerciales pour les fabricants liées au développement de ce marché conduisirent à un afflux massif de produits à la qualité et aux performances douteuses. La situation fut exacerbée par le manque d'installateurs formés et de personnel de maintenance compétent sur les circuits frigorifiques et les aspects spécifiques des pompes à chaleur. Quelques

⁹ NdT : il est peut être abusif de parler ici de filtration. C'est cependant le terme utilisé par l'auteur dans l'article en anglais.

contre-références catastrophiques firent malheureusement l'effet d'une douche froide sur ce développement exubérant.

Le calme avant la tempête (1960-1975)

Une période de répit pour les pompes à chaleur dura environ 15 ans, durant lesquels l'intérêt pour ces équipements fut réduit. Cependant, l'installation de pompes à chaleur ne cessa pas durant cette période ; au contraire, beaucoup d'installations furent réalisées sous l'impulsion de producteurs d'énergie locaux ou régionaux, comme par exemple dans le nord-ouest des États-Unis, où l'hydroélectricité et les conditions climatiques rendaient ces systèmes attractifs. De même, dans les États du sud-ouest, où le climat est très sec et chaud en été et avec des jours frais en hiver, les pompes à chaleur devinrent le système retenu pour les lotissements. La plupart de ces maisons n'avaient pas de caves et les pompes à chaleur étaient installées sur les toits de ces maisons, souvent associées à des systèmes de rafraîchissement évaporatif.

C'est pendant ces années qu'une forte compétition naquit entre les distributeurs d'électricité et les distributeurs de gaz, provoquée par la croyance que l'électricité d'origine nucléaire allait devenir l'énergie principale pour le résidentiel et le petit tertiaire, tandis que les combustibles fossiles verraient leur utilisation de plus en plus limitée au secteur industriel. De vastes programmes de lancement de maisons « tout-électriques » étaient courants à cette époque aux États-Unis, au Canada et en Europe de l'Ouest. Les distributeurs de gaz luttèrent âprement contre cette tendance, avec des travaux de recherche importants sur les systèmes de climatisation au gaz et des programmes pour maintenir leurs parts de marché dans les secteurs résidentiel et tertiaire. Beaucoup pensaient alors que le gaz livrait une bataille perdue d'avance, car l'encombrement et le coût des systèmes à gaz représentaient un handicap commercial majeur.

La situation devint critique en 1973, lorsque les approvisionnements pétroliers du Moyen-Orient furent brusquement interrompus. En 1974, l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) fut mise en place par les pays de l'OCDE pour tenter de réagir face à des approvisionnements pétroliers désormais peu abondants. Les fournisseurs d'électricité dans les climats les plus froids furent alors soumis à une contrainte forte, car de vastes zones dépendaient d'eux et que la construction de nouvelles centrales électriques avait été freinée, voire quasiment stoppée pour le nucléaire. Plusieurs de ces producteurs d'électricité commencèrent alors à rechercher des moyens plus efficaces pour le chauffage de ces maisons tout-électriques et pour la gestion des pics de consommation. Parmi les différents systèmes envisageables, seules les pompes à chaleur semblaient avoir été développées dans ce but et pouvaient être considérées, avec des coûts raisonnables, comme adaptées à une vaste utilisation. De ce fait, de nombreux distributeurs d'électricité, seuls ou en groupes, et des agences gouvernementales commencèrent à explorer sérieusement la possibilité d'une nouvelle ère pour les pompes à chaleur. L'AIE identifia les pompes à chaleur comme l'une des technologies-clés pour les économies d'énergie dans les bâtiments et comme devant faire l'objet de travaux de R&D prioritaires au niveau international. Ce fut le début de l'Accord sur la mise en œuvre des pompes à chaleur¹⁰.

¹⁰ NdT : Le nom complet de cet accord, mis en place en 1978, est : « IEA Implementing Agreement for a programme of research, development, demonstration and promotion of heat pumping technologies ». Les 13

La redécouverte d'une technologie utile (1976 – 1990)

A la fin des années 1970, des pompes à chaleur de conception nouvelle, avec des caractéristiques et des performances améliorées, commencèrent à être vendues en grande quantité ; les ventes aux États-Unis furent de 325 000 unités en 1976. Les pompes à chaleur représentaient une part significative des ventes d'appareils de conditionnement d'air domestiques. La Figure 2 montre la croissance des ventes de pompes à chaleur aux États-Unis jusqu'en 1980. Bien que les prévisions de la presse d'affaires aient été de 1 million d'unités par an à partir de 1980, les prix de nouveau attractifs du gaz naturel, combinés avec une baisse de la construction des bâtiments, conduisirent à une baisse des ventes de pompes à chaleur.

Suite au choc pétrolier du milieu des années 1970, les gouvernements des pays industrialisés avaient lancé des programmes d'économies d'énergie incluant des propositions de seuils minimaux de performance énergétique et des programmes d'essais et de certification. En Suède, une opinion publique de plus en plus hostile aux centrales nucléaires entraîna des actions vigoureuses de réduction des consommations d'énergie dans les bâtiments et l'industrie, de façon à permettre le démantèlement des centrales nucléaires existantes. En France, EDF lança le programme PERCHE¹¹ pour introduire les pompes à chaleur dans le résidentiel et le petit tertiaire. Les fabricants furent incités à développer des appareils adaptés à ces usages, avec un accent particulier sur le remplacement de chaudières fioul inefficaces, du chauffage électrique direct et des chaudières électriques.

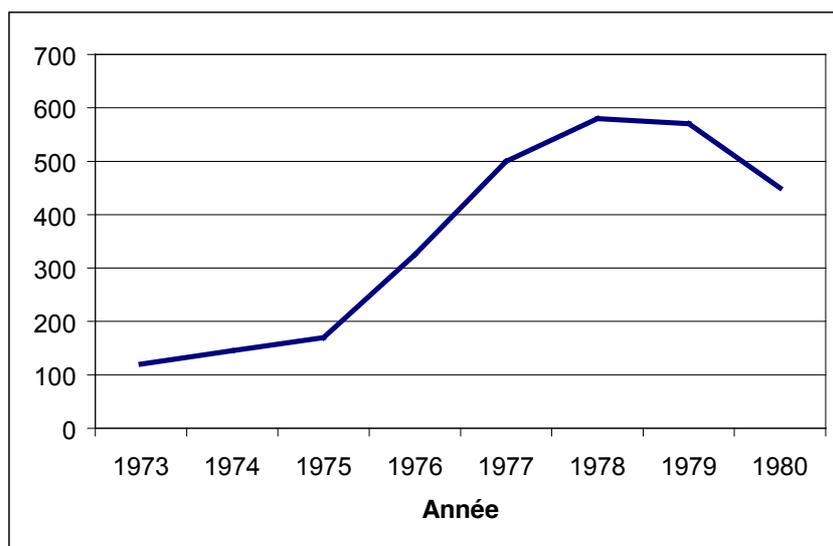


Figure 2 : Vente de pompes à chaleur domestiques aux États-Unis (en milliers d'unités)

En 1980, des programmes gouvernementaux pour encourager l'utilisation des pompes à chaleur avaient été mis en place en Allemagne, en Autriche et au Japon, où la Tokyo Electric Power Company conduisit un programme majeur d'introduction

pays qui y participent actuellement sont : Allemagne, Autriche, Canada, Corée, Finlande, France, Italie, Japon, Norvège, Pays-Bas, Suède, Suisse, USA.

¹¹ NdT : la signification de PERCHE était : « Pompes à chaleur en relève de chaudières ».

des pompes à chaleur pour le chauffage résidentiel. L'accroissement des pics hivernaux de consommation électrique et des préoccupations sur le coût et à la disponibilité des approvisionnements en gaz naturel et en pétrole constituaient les éléments de contexte communs à tous ces programmes. A l'exception du Japon, toutes ces initiatives rejoignirent l'expérience américaine, avec trop de produits de qualité insuffisante, mis en place par des installateurs inexpérimentés, et trop peu d'entreprises d'installation et de maintenance formées. Au salon ISH de Francfort en 1983, ce sont plus de 130 fabricants qui exposaient des pompes à chaleur, à la fois pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire. Les ventes de pompes à chaleur dans ces pays augmentèrent très rapidement, puis chutèrent aussi rapidement au milieu des années 1980. Des approvisionnements renouvelés de pétrole et de gaz à des coûts attractifs accélérèrent ce déclin. Les activités de recherche mentionnées plus haut, avec le suivi de maisons dans des climats du nord des États-Unis, furent étendues en 1980, avec des efforts similaires en France grâce à une collaboration entre EDF et le CETIAT. Dans les trois ou quatre ans qui suivirent, ce programme permit de mener des études sur la conception des pompes à chaleur air-eau pour des maisons neuves ou existantes en France, ainsi que pour des bâtiments tertiaires comme des banques, des bureaux ou des immeubles d'habitation. Ce programme permit ainsi de proposer des conceptions avancées de pompes à chaleur et de les mettre en œuvre dans des maisons en France ; des prototypes furent aussi installés dans des bâtiments existants et suivis pendant deux saisons de chauffe. Les particularités de ces appareils étaient qu'ils comportaient des échangeurs fluide frigorigène – eau performants et une régulation électronique du dégivrage.

Comme indiqué plus haut, les ventes de pompes à chaleur avaient augmenté rapidement aux États-Unis et au Japon à partir de 1984. Ceci fut un stimulant important pour d'autres pays ; inversement, cet intérêt d'autres pays industrialisés constitua une validation supplémentaire pour les acteurs américains et japonais. On retiendra en particulier la présentation, lors d'une conférence à Graz, de l'ensemble des technologies qu'un fabricant japonais explorait pour améliorer les caractéristiques économiques, les performances et la fiabilité des pompes à chaleur, en particulier pour les applications résidentielles. Il s'avère que cette vue d'ensemble présenta, en avant-première, les avancées technologiques qui allaient être mises en œuvre par les fabricants japonais durant les vingt années suivantes. Le succès de cette conférence donna l'impulsion pour qu'elle soit ensuite organisée régulièrement, constituant un élément majeur du Programme « Technologies des Pompes à Chaleur » de l'AIE. Cette conférence internationale a ainsi lieu tous les trois ans depuis 1984.

On retiendra des années 1980 les efforts continus pour l'amélioration des pompes à chaleur, l'Amérique du Nord et le Japon représentant alors les plus importants marchés mondiaux et les principales zones de fabrication. L'intérêt pour les pompes à chaleur augmenta aussi en Europe du Sud, avec une demande accrue de rafraîchissement. Les appareils réversibles (principalement air-air) vendus dans ces pays le furent d'abord en tant que climatiseurs. Les appareils mobiles devinrent aussi populaires, pour les petits commerces et les boutiques, la partie extérieure de ces appareils étant souvent déplacée à l'intérieur au moment du déjeuner ou la nuit, grâce à des liaisons frigorifiques et électriques flexibles avec l'unité intérieure. Les pays faisant fortement appel à l'électricité (comme par exemple la France) avaient adopté les pompes à chaleur réversibles pour fournir une charge estivale à des

centrales de production électrique dimensionnées pour les importantes charges hivernales. Ceci ne fut pas perçu de manière positive, dans la mesure où le conditionnement d'air pouvait être considéré à cette époque comme malsain et inutilement luxueux pour la majeure partie de l'Europe. Cependant, avec les besoins des producteurs d'électricité de maîtriser de la demande, l'intérêt pour les systèmes de conditionnement d'air et les pompes à chaleur augmenta lentement mais sûrement. Au Japon, la saturation du marché des climatiseurs suivit la tendance observée pour d'autres produits, comme les téléviseurs ou les produits électroménagers pour la cuisine, si bien qu'à la fin des années 1980, le taux d'équipement des ménages était de plus de 90%. Au début des années 1990, les pompes à chaleur représentaient 90% des ventes totales d'unités de chauffage et de rafraîchissement et ce niveau s'est maintenu jusqu'à aujourd'hui.

De nouveaux défis – la réponse aux enjeux environnementaux (1990-1999)

Durant les années 1980, la disponibilité et le coût des combustibles (principalement le gaz naturel) avaient freiné la croissance du marché des pompes à chaleur dans la plupart des pays développés. Les années 1990 apportèrent leur lot de nouveaux défis pour les fabricants et les fournisseurs d'énergie, avec de nouvelles exigences de réduction de l'impact environnemental. En 1987, le Protocole de Montréal attira l'attention au niveau mondial sur la question de la réduction de la couche d'ozone et fixa des limites pour la production des fluides frigorigènes de type CFC (chlorofluorocarbones). Quelques années plus tard, l'Accord de Copenhague introduisit des limites pour les HCFC (hydro chlorofluorocarbones). Ces deux accords sonnèrent le glas pour les fluides frigorigènes sûrs et « sympathiques » (non toxiques, non inflammables) utilisés alors dans la plupart des équipements de conditionnement d'air et de réfrigération dans le monde. Les fabricants firent face à la double problématique de trouver des alternatives adaptées à ces fluides frigorigènes traditionnels et de développer des produits plus performants pour respecter les réglementations sur l'efficacité énergétique. Les producteurs d'électricité avaient aussi encouragé les produits plus efficaces grâce à des incitations financières, afin de faire face de façon positive à leurs demandes de charges croissantes. Le coût de la construction de nouvelles centrales était devenu prohibitif et les autorisations de construction très difficiles à obtenir.

L'intérêt du marché américain et de beaucoup d'autres pays pour les pompes à chaleur dans l'industrie avait été décevant. En 1993, le Programme « Pompes à Chaleur » de l'AIE lança une étude en partenariat sur les applications potentielles de ces matériels. Grâce à ce projet, une grille d'évaluation fut développée en 1995 pour aider les sociétés d'ingénierie à estimer les économies d'énergie. Malgré un grand nombre d'applications potentielles rentables, très peu d'opérations furent effectivement réalisées. Le fait que l'installation de pompes à chaleur dans l'industrie soit coûteuse à l'investissement et qu'elle nécessite un travail d'ingénierie spécifique a peut-être freiné les intérêts suscités, à l'exception de quelques cas d'ingénieurs sensibles à des aspects énergétiques et travaillant dans de grandes sociétés. Au début des années 1980, les fabricants lancèrent plusieurs types de pompes à chaleur, comme celles permettant la récupération de chaleur sur des groupes refroidisseurs de liquide, répondant aux nouveaux besoins perçus, liés à un intérêt accru pour la maîtrise de l'énergie. Ces pompes à chaleur ont été installées dans des brasseries, des imprimeries, des caves, des serres et dans de multiples autres

applications. Certaines utilisations se poursuivent mais, dans la plupart des pays, peu de publicité est aujourd'hui faite pour de tels produits.

En 1990, les ventes annuelles de pompes à chaleur en Amérique du Nord pour la rénovation ou le remplacement étaient du même niveau que pour des logements neufs. Le phénomène s'est poursuivi et s'est même amplifié ces quinze dernières années, car les pompes à chaleur installées dans les années 1970-1980 avaient atteint leur âge de remplacement du point de vue économique (lié à la fréquence et au coût des réparations, ou à des coûts d'usage réduits grâce à des nouveaux modèles plus efficaces). En dépit du fait que beaucoup de ces anciennes pompes à chaleur continuaient à fonctionner correctement, beaucoup de particuliers choisissent d'acheter de nouveaux appareils pour bénéficier de leurs caractéristiques améliorées, et entre autres leur efficacité plus élevée. Depuis la crise pétrolière des années 1970, l'inquiétude relative aux approvisionnements en énergie des systèmes de chauffage résidentiels et tertiaires est plus forte et beaucoup de pompes à chaleur sont aujourd'hui vendues en même temps qu'un générateur d'air chaud classique gaz ou fioul. Ceci permet de disposer d'un complément à la pompe à chaleur électrique, permettant un choix pour les faibles températures extérieures en fonction des coûts relatifs de l'énergie et de l'efficacité de la pompe à chaleur à ces températures.

L'efficacité des pompes à chaleur (et des climatiseurs) a augmenté de façon spectaculaire par rapport au début des années 1970 (Figure 3), sous l'impulsion de valeurs seuils réglementaires et des programmes d'aides financières des distributeurs d'énergie. On est ainsi passé sur le marché américain d'une efficacité énergétique saisonnière moyenne en mode froid de 2 ou moins dans les années 1970 à des valeurs supérieures à 3 en 2000. Le saut observé en 1992 est lié à une nouvelle réglementation sur les performances minimales, entrée en vigueur cette année-là. Des améliorations supplémentaires sont attendues en raison de nouvelles exigences sur le rendement saisonnier des appareils en mode rafraîchissement, qui doit atteindre 3,8 depuis janvier 2006.

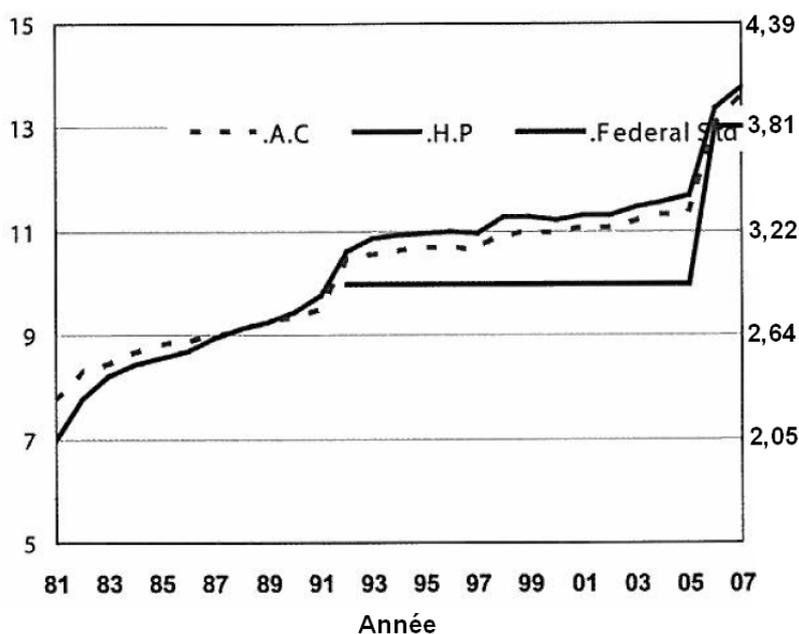


Figure 3 : Efficacité énergétique saisonnière moyenne du marché américain (pondérée par les ventes) des pompes à chaleur domestiques.

En ordonnées à gauche : le coefficient d'efficacité énergétique saisonnière (SEER en BTU/Wh). En ordonnées à droite : la même grandeur exprimée en W/W. La courbe en pointillés montre l'efficacité moyenne des climatiseurs, la courbe continue noire l'efficacité moyenne des pompes à chaleur en mode froid. Les paliers horizontaux indiquent le seuil réglementaire américain.

Des solutions pour le développement des pays (2000 à aujourd'hui)

La Conférence de l'AIE sur les pompes à chaleur à Berlin en 1999 permit de présenter le marché des pompes à chaleur et les développements technologiques dans différentes parties du monde. On retiendra de ces présentations la croissance du marché dans plusieurs zones ou pays émergents (comme par exemple en Asie du sud-est, dans le sous-continent indien et en Europe de l'est). Dans la plupart de ces pays, il existe des barrières à la croissance des pompes à chaleur, liées à des limitations dans la production et la distribution d'énergie et au nombre insuffisant de bureaux d'études, d'installateurs et de sociétés de maintenance pour les systèmes de conditionnement d'air et les pompes à chaleur. En revanche, l'usage de ces appareils correspond à un progrès sociétal et l'introduction de ces nouvelles technologies n'est pas freinée par des technologies ou des intérêts concurrents (en dehors des habitudes culturelles). Ces pays offrent aussi de bonnes possibilités pour éprouver de nouveaux systèmes. Les économies d'énergie et les impacts environnementaux réduits constituent d'excellentes raisons pour utiliser les pompes à chaleur dans ces pays en développement. Les participants à la 7^{ème} Conférence de l'AIE sur les pompes à chaleur à Pékin en 2002 ont pu le constater eux-mêmes : la forte et rapide croissance de l'activité liée aux pompes à chaleur en Chine était étonnante, en particulier la croissance observée dans les nouveaux bâtiments, avec des occupants ayant besoin de la climatisation, et l'introduction de pompes à chaleur géothermales et de pompes à chaleur industrielles pour une large gamme d'applications. La situation climatique en Chine et dans d'autres pays de l'Asie du sud-est, couplée avec une densité de population urbaine élevée, favorise l'usage du conditionnement d'air. Les ventes annuelles ont atteint 18 millions d'unités, avec 60% de pompes à chaleur réversibles. Les besoins rapidement croissants en électricité, liés à la forte croissance économique, nécessitent des bâtiments et des procédés industriels efficaces du point de vue énergétique. Les pompes à chaleur devraient connaître un futur brillant dans ces régions, contribuant à la fois aux avancées sociétales et économiques. Les décideurs politiques devront cependant être sensibilisés aux aspects positifs des pompes à chaleur et à l'importance de mettre en place une formation et des programmes de développement appropriés pour stimuler leur utilisation et leur acceptation.

En résumé

Les premières applications des pompes à chaleur dans les procédés industriels, à la fin du 19^{ème} siècle et jusqu'à la Deuxième Guerre Mondiale, furent clairement motivées par des besoins en énergie qui augmentaient rapidement avec la mécanisation des procédés et l'amélioration de la production, excédant les sources d'énergie facilement disponibles. Cependant, ces applications nécessitèrent une

ingénierie de qualité et un bon esprit d'entreprise (ainsi qu'une bonne dose de foi) pour que ces installations voient le jour. Des raisons similaires poussèrent à une utilisation accrue des pompes à chaleur sur une large gamme d'autres applications dans la première moitié du 20^{ème} siècle. Après la Deuxième Guerre Mondiale, les pompes à chaleur pour le chauffage des locaux étaient une évolution naturelle de l'intérêt croissant pour les systèmes de conditionnement d'air. Jusqu'en 1973, les besoins de systèmes assemblés en usine pour le chauffage et la climatisation des bâtiments résidentiels et tertiaires ont donné une impulsion au développement des pompes à chaleur. Des ingénieurs visionnaires, comme Willis Carrier et J. Donald Kroeker, conscients des avantages des pompes à chaleur dans les grands bâtiments, virent dans celles-ci un outil précieux pour répondre de manière innovante à de nouveaux besoins. Leur succès nécessita un fort esprit d'entreprendre et de grandes compétences techniques. La croissance des ventes de pompes à chaleur en Amérique du Nord et en Asie (Figure 4), et plus récemment en Europe, montre que les pompes à chaleur constituent aujourd'hui un système de conditionnement d'ambiance respectable et de plus en plus populaire. Cette popularité va sans doute encore s'améliorer avec l'intérêt croissant pour les systèmes énergétiques qui présentent des impacts environnementaux réduits et économisent l'énergie. Hermann Halozan, alors Président de la Commission E2 de l'Institut International du Froid sur les pompes à chaleur, faisait remarquer en 2004 qu'il y a plus de 130 millions de pompes à chaleur installées dans le monde et que ce chiffre augmente beaucoup chaque année. Il estimait que ces appareils contribuent à une réduction des émissions de CO₂ d'environ 0,13 Gt/an et que la croissance du marché permettra d'équiper jusqu'à 30% des bâtiments, ce qui conduirait avec les technologies existantes à une réduction de 6% des émissions annuelles de CO₂ qui sont de 22 Gt/an. Avec les technologies du futur, ce pourcentage pourrait aller jusqu'à 16%.

Aux États-Unis et au Japon, le marché de remplacement et d'ajout de pompes à chaleur croît au fur et à mesure que les appareils anciens, à faible efficacité et installés ces 25 dernières années ont atteint leur fin de vie économique. Tous ces éléments laissent penser que l'avenir est prometteur pour les pompes à chaleur et les technologies associées. L'amélioration continue des produits et des composants et l'augmentation du nombre d'unités fabriquées peuvent conduire à des économies d'échelle et à des conceptions d'appareils plus simples à installer et à maintenir, ce qui contribuera à leur plus grande acceptabilité.

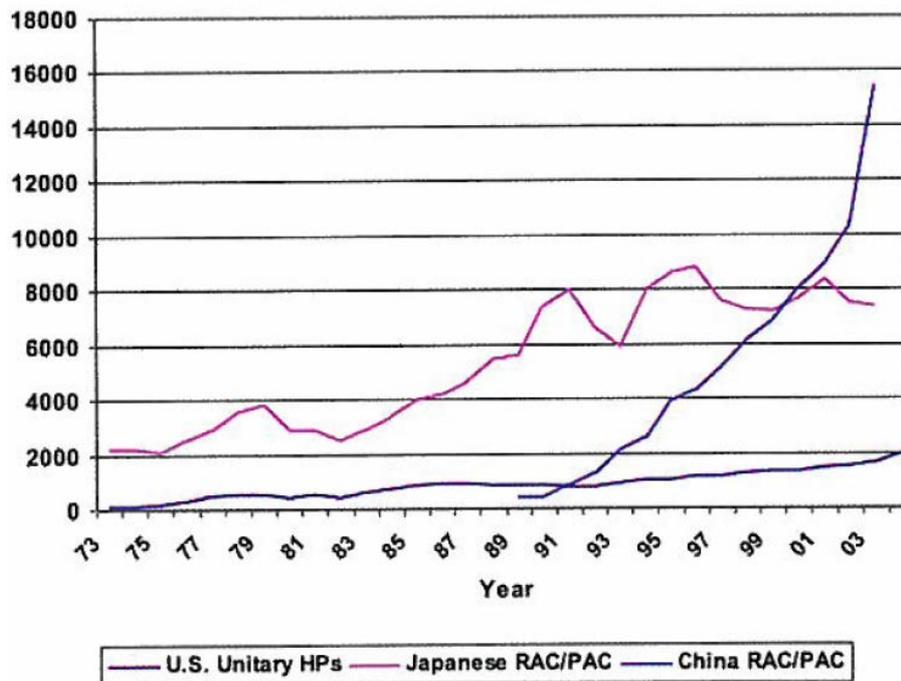


Figure 4 : Croissance des ventes de pompes à chaleur domestiques aux États-Unis, au Japon et en Chine (en milliers d'unités)

Le terme « pompe à chaleur » est mal connu d'un grand nombre de personnes. Il reste un obstacle majeur à une bonne acceptabilité par les utilisateurs. Les pouvoirs publics, les distributeurs d'énergie et les défenseurs de l'environnement qui souhaitent une croissance du marché des pompes à chaleur devraient mettre en place des programmes d'éducation et des actions d'élimination des barrières existantes.

A propos de l'auteur

Gerald C. Groff, Fellow ASHRAE, est un expert renommé au niveau mondial sur les pompes à chaleur. Il a présidé la Section E (Conditionnement d'air, pompes à chaleur, récupération d'énergie) de l'Institut International du Froid. Il a reçu le Paul Anderson Award à la Conférence d'hiver de l'ASHRAE en 2010 pour ses actions au service du chauffage, de la ventilation, du conditionnement d'air et de la réfrigération. Il est l'auteur de plus de 30 articles sur les pompes à chaleur, les ventilateurs, l'énergie dans les bâtiments et les applications de l'énergie solaire. Gerald Groff a aussi directement contribué au développement des pompes à chaleur dans des climats froids aux États-Unis et en Europe. Il a contribué, à une exception près, à l'organisation de toutes les Conférences internationales de l'AIE sur les pompes à chaleur et est intervenu comme orateur invité dans la plupart d'entre elles. Il a reçu en 2008 à l'occasion de la Conférence de l'AIE à Zürich la médaille Rittinger, une distinction internationale dans le domaine du conditionnement d'air, des pompes à chaleur et de la réfrigération.